Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
(Direktor: Prof. Dr. Ad. Liechti)
Arbeit unter der Leitung von Dr. W. Minder

Versuche mit Röntgen- und Grenzstrahlen an Puppen von Drosophila melanogaster

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

vorgelegt von

Ruth Ehrmanova-Friedlaender
von Kralovsky Chlumec (CSR)

Buchdruckerei W. Friedli, Aarbergergasse 42, Bern

1941

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. Ad. Liechti von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 9. Juli 1941.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
sig. Prof. Dr. Bluntschli

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Inhalt

Versuche mit Röntgen- und Grenzstrahlen an Puppen von Drosophila melanogaster

	Seite
A. Einleitung	5
B. Vorbereitung des Materials	7
C. Versuche	
1. Versuch mit harten Strahlen	8
2. Versuch mit weichen Strahlen	10
3. Versuch mit Grenzstrahlen	11
4. Versuch mit veränderter Intensität	12
5. Variationskurven	13
D. Zusammenfassung	15
Literatur	16

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547622_0088

Versuche mit Röntgen- und Grenzstrahlen an Puppen von Drosophila melanogaster

A. Einleitung

Beim Durchtritt von Röntgenstrahlen durch Materie tritt entsprechend der absorbierten Strahlenmenge, wahrscheinlich als Primärvorgang zu werten, Jonisation ein. Sie gilt als Ausdruck und als Mass der stattgefundenen Energieübertragung. Die internationale Einheit der Röntgenstrahlenmenge, das „r", bezieht sich auf die Luftionisation. Sie ist definitionsgemäss unabhängig von Strahlenqualität und von der Zeit. Inbezug auf die Absorption verhält sich das biologische Medium praktisch luftäquivalent und in gewissen Grenzen homogen. Bestimmen wir eine Dosis in r—Einheiten, so haben wir ein absolutes Mass für die Gesamtenergiemenge, die vom biologischen Objekt durch die Bestrahlung aufgenommen wird.

Es wurden viele biologische Objekte untersucht, in dem Bestreben, das Verhältnis zwischen physikalischer Dosis und Wirkung abzuklären, um so zu einer biologischen Einheit zu gelangen. Dabei ergab sich die Tatsache, dass im Gegensatz zu den physikalisch-chemischen und chemischen Folgeerscheinungen der Bestrahlung im Gewebe zwischen dem biologischen Gesamteffekt — z. B. Tod von Zellen oder Geweben — und dem Mass der Jonisation kein konstantes Verhältnis besteht. Es wurden Schwankungen bis zu einem Verhältnis von 1 : 10 000 festgestellt. Auch innerhalb ein und desselben Objekts wurden grosse Schwankungen gefunden. Abgesehen von den verschiedenen Graden der Immunität gegen bakterielle und chemische Gifte gibt es kein Analogon für ein derart differentes Verhalten von Individuen und Zellen derselben Art unter gleichmässiger Beeinflussung durch irgendein wirksames Agens. Bestrahlt man eine Population — z. B. von Wurmeiern, Pflanzenkeimlingen, Bakterien — und stellt das Absterben der einzelnen Glieder unter der Bestrahlung graphisch dar, so erhält man eine sogenannte Schädigungskurve. Durch Vergleich der durchschnittlichen Halbwertsdosis, d. h. der Dosis, die zur Schädigung von 50 % der Population notwendig ist, unter wechselnden Bestrahlungsbedingungen kann man den Einfluss der betreffenden Faktoren auf den Wirkungsgrad der gemessenen Dosis feststellen. Zur Erforschung der Gesetzmässigkeiten der biologischen Strahlenwirkung sind Versuche an biologischen Populationen besonders geeignet. Einmal kann als Indikator der Strahlenwirkung ein eindeutiger Effekt, z. B. der Tod des Individuums, benützt werden. Demgegenüber sind z. B. Erythemstufen der menschlichen Haut nicht so genau abzugrenzen. Weiter kann das Einzelobjekt so klein gewählt werden, dass die Dosis im ganzen Objekt praktisch gleich der Einfalldosis ist. Dadurch ist der Vergleich der Dosiswirkung verschiedener Strahlenqualitäten sehr vereinfacht. Vor allem aber ermöglicht die grosse Zahl der Individuen die Ergebnisse statistisch auszuwerten. In dieser Hinsicht ergaben die Versuche an den verschiedensten Objekten durchgehend einen charakteristischen Befund.

Der Verlauf der Schädigungskurven weist entweder eine angenähert exponentiale oder aber eine sigmoidale Form auf. Den sigmoidalen Verlauf der Empfindlichkeitsverteilung kann man durch die biologische Variabilität zu erklären versuchen. Die kontinuierlichen Variationen sind am häufigsten bei einem Mittelwert und werden nach den Extremen hin immer seltener. Stimmen nun schon viele sigmoidale Formen mit dieser Häufigkeitsverteilung nicht überein, so lässt eine Schädigung, die in Funktion von der Strahlenmenge exponential verläuft, diese Erklärung nicht zu. Die sogenannte Treffertheorie der biologischen Strahlenwirkung gibt nun den Kurven eine andere Deutung. Sie nimmt an, dass in den Kurven spezifische Quanteneffekte zum Ausdruck kommen. Nach ihr sind zum sichtbaren biologischen Strahleneffekt eine bestimmte Trefferzahl in einem empfindlichen Bereich der Zelle notwendig. Die Häufigkeitsverteilung wäre dann abhängig von der Trefferwahrscheinlichkeit und der notwendigen Trefferzahl, sigmoidal bei mehreren Treffern, übergehend zur einfachen Exponentialfunktion bei einem Treffer.

Dieser Annahme, zu der man auf dem Wege der Wahrscheinlichkeitsrechnung gelangte, steht die direkte Beobachtung einer sprunghaften biologischen Strahlenwirkung zur Seite. Durch Röntgenbestrahlung von Keimzellen wird die spontane Mutationsrate proportional zur Dosis erhöht, als Folge lokaler Einwirkung auf die betreffenden Gene.

Weiter erhält die Treffertheorie für die Voraussetzung, dass sich die Differenzierung der Organismen bis zu molekularer Struktur fortsetze — sonst könnten sich ja einzelne quantenphysikalische Elementarakte nicht im sichtbaren Effekt manifesieren — eine wesentliche Stütze durch Ergebnisse der Virusforschung. Stanley und Wykoff ist es gelungen, Virussubstanz zur Kristallisation zu bringen. Das kristallisierte Virus behält seine Infektionsfähigkeit und gibt die gleiche Antiserumreaktion wie infektiöser Zellsaft. Das Virusmolekül ist von der gleichen Grösseordnung, die man für die empfindlichen Bezirke aus den Schädigungskurven berechnet hat.

Exponential verlaufende Kurven lassen sich in allen Zusammenhängen mit der Theorie in Einklang bringen. Bei sigmoidal verlaufenden Kurven dagegen sind einzelne Befunde noch ungeklärt. Hier steht die Strahlensibilität in Zusammenhang mit der Primärschädigung, wie Ad. Liechti an Ascariseiern feststellte, die Häufigkeitsverteilung wäre danach nicht allein von der Trefferwahrscheinlichkeit abhängig. Ausserdem tritt hier stets ein Zeitfaktor auf und zwar in der Form, dass eine Dosis in kurzer Zeit verabfolgt stärkere Wirkung hat als eine gleich grosse Dosis über längere Zeit verteilt. Nach der Treffertheorie fällt der biologische Primärvorgang zusammen mit dem physikalischen. Aber gerade für Röntgenstrahlen gilt im Gegensatz zum Licht das Schwarzschild'sche Gesetz nicht. Die bei manchen Objekten beobachtete Wellenlängenabhängigkeit der Reaktion wird dagegen nur nach der Treffertheorie verständlich, da ja die Gesamtionisation von der Wellenlänge unabhängig ist.

Nach den bereits vorliegenden Versuchen an Einzellern und Primitivstadien war es nun von grösstem Interesse die Schädigungskurven von einem höher differenzierten, vielzelligen Objekt von geeigneten Dimensionen aufzunehmen. In Experimenten von P. Henshaw und J. H. Müller erwies sich die besondere Brauchbarkeit der Drosophilapuppen für strahlenbiologische Versuche. Die Puppe ist klein genug, um die Dosiswirkung verschiedener Strahlenqualitäten vergleichen zu können, ohne die Schwächung berücksichtigen zu müssen. Für Zeitfaktorversuche wesentlich ist die Tatsache, dass die mittlere Strahlenempfindlichkeit im Alter von 11—24 Stunden konstant bleibt. Man hat also genügend Zeit zur Verfügung, um auch länger dauernde Versuche unter gleichbleibenden Voraussetzungen durchführen zu können. Sie beweisen dadurch, dass sie sich überhaupt bis zum Puppenstadium entwickelt haben, eine gewisse Unempfindlichkeit gegenüber der Schädigung. Die Zucht der Fliegen ist einfach, sodass man bei jedem Versuch mit einer grossen Zahl von Einzelindividuen arbeiten kann. Dadurch ergibt sich ein guter Mittelwert.

Im Rahmen der Gesamtuntersuchungen, welche sich auch auf Ultraviolett-, δ- und ßStrahlen erstreckten, bestand die Aufgabe der vorliegenden Versuche darin, die Schädigungskurven für Röntgenstrahlen aufzunehmen. Dabei sollte die Frage der Wellenlängenahängigkeit des Schädigungsverlaufs näher geprüft werden, besonders hinsichtlich der Befunde von Ad. Liechti an Ascariseiern. Die Versuche von J. H. Müller an Drosophilapuppen, welche sich auf den Vergleich der Wirkung harter Röntgenstrahlen und δ-Strahlen bezogen, sollten durch Versuche mit weichen Röntgenstrahlen und Grenzstrahlen ergänzt werden. Ausserdem wurde ein Versuch mit weichen Strahlen unter Veränderung der Intensität durchgeführt.

B. Vorbereitung des Materials

Vom zoologischen Institut Bern wurde uns ein wilder Stamm von Drosophila melanogaster, ca. 50 Exemplare, zur Verfügung gestellt. Die Versuchsmethodik wurde nach Angaben von J. H. Müller durchgeführt. Die Fliegen werden auf einem Nährboden aus Mais, Melasse Agar und Hefe gezüchtet. Die Larven müssen täglich ausreichend frische Hefe erhalten, damit sie sich nicht zu früh verpuppen. Die Kulturen müssen dauernd im Brutschrank bei 26° C gehalten werden. Nachdem wir einen genügenden Vorrat an Fliegen gezüchtet hatten, begannen wir mit den Versuchen. Für einen Versuch werden 20 frische Gläser mit je etwa 100 Fliegen angesetzt. Nach einer Nacht werden die Fliegen von den Eiern getrennt. Vom 4. Tage an, durchschnittlich am 5. und 6. Tag, erhält man eine genügende Menge von Puppen für den Versuch. Es können nur Puppen im Mindestalter von 11 Stunden und im Maximalalter von 20—22 Stunden verwendet werden. Die Bestimmung des Alters geschieht durch folgende Methoden. Einen Tag vor dem Versuch werden alle Puppen

und Larven, die sich an den Glaswänden befinden, mit einem feuchten, weichen Pinsel auf den Nährboden hinuntergeschoben. Am nächsten Tag, nach 18 oder 16 Stunden, je nach der Versuchsdauer, werden die Puppen, die jetzt an den Glaswänden sitzen, mit dem Pinsel herausgenommen und in eine wassergefüllte Schale getan. Nur diejenigen Puppen, die wenigstens 7 Stunden alt sind, bleiben an der Wasseroberfläche, da sie von dieser Zeit an Lufträume enthalten, und werden verwendet. Der Versuch beginnt 4 Stunden nach der Schwimmprobe. Dann sind die Puppen also 11—22 oder 11—20 Stunden alt. Die Puppen werden nun einschichtig mit dem Pinsel auf feuchtes Fliesspapier verteilt, je eine Portion von ca. 100 Exemplaren auf ein Stückchen Fliesspapier, und bis zur Bestrahlung und nach der Bestrahlung bis zur Auszählung im Brutschrank aufbewahrt. Bei den geschädigten Puppen sind die Fliegen nicht mehr ausgeschlüpft. Man kann die vollen und leeren Puppen am besten in durchfallendem Licht unterscheiden. Bei früheren Versuchen wurden die vollen Puppen in solche geschieden, die homogen geblieben waren, und in solche, die sich noch entwickelt hatten, wobei nur die letzteren als strahlengeschädigt gezählt wurden. Aber diese Unterscheidung ist nicht eindeutig. Deshalb stellten wir die Spontanschädigung jeweils in einer separaten Portion fest und reduzierten den Wert für die Strahlenschädigung entsprechend.

C. Versuche

1. Versuch mit harten Strahlen

Nach einer Reihe von Vorversuchen, die in Zusammenarbeit mit H. Loevy vorgenommen wurden und bei denen die in Frage kommenden Dosen festgestellt werden sollten, führten wir zunächst einen Versuch mit praktisch den gleichen Bestrahlungsbedingungen durch, wie sie J. H. Müller verwendete. Die Bedingungen waren:

190 kV
4 mA
1,0 Cu Filter

Der Strahlenzufluss betrug 50 r/min.

Die Intensität wurde während der ganzen Versuchsdauer mit dem Hammerdosimeter kontrolliert. Die einzelnen Portionen mit je etwa 100 Puppen auf feuchtem Fliesspapier, wurden auf einen mit Cellophan bespannten Stickrahmen gelegt und auch mit einem gleichen zugedeckt, damit sie genügend Feuchtigkeit während der Bestrahlung behielten. Die Röntgenröhre wurde im Abstand von 20 cm darüber zentriert. Unterhalb des Präparates befand sich im Abstand von 15 cm die Kammer des Dosimeters. Die Bestrahlung erfolgte in freier Luft, sodass Rückstreuung und Sekundärstrahlung praktisch bedeutungslos waren.

Für einen Versuch verwendeten wir 7 Portionen. Sie wurden mit 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 und 7000 r bestrahlt und damit 7 Punkte der Kurve festgelegt. Der Verlauf der Kurve wurde interpoliert. Die Kurve (Abbildung 1) stellt den Mittelwert aus 6 Versuchen dar. Das schraffierte Feld zeigt den nach Gauss berechneten Fehler. Die Spontanschädigung wurde nach folgender Gleichung berücksichtigt:

$$St = (Ss - S)\ \frac{100}{100 - Ss}\ \%$$

St bedeutet Strahlenschädigung, Ss Spontanschädigung und S Gesamtschädigung.

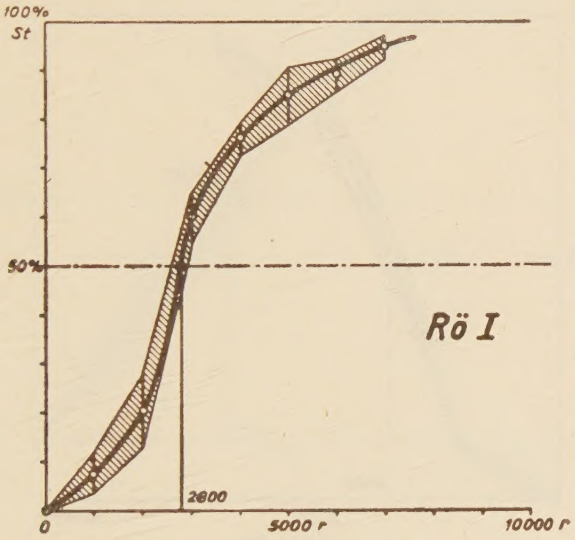

Abbildung 1

Die Halbwertdosis, die Dosis, die zur 50 %-Schädigung notwendig ist, beträgt 2800 r. Sie ist wesentlich höher als für Drosophilaeier, wo sie nur 180 r beträgt. Das steht in Uebereinstimmung mit der Erfahrung, dass Keimzellen eine wesentlich höhere Strahlensensibilität aufweisen als Körperzellen. J. H. Müller fand unter praktisch gleichen Bestrahlungsbedingungen für Drosophilapuppen eine Halbwertdosis von 3500 r. Das hängt wahrscheinlich mit der Verschiedenheit der Fliegenstaemme zusammen, wie z. B. Ad. Liechti auch für Ascariseier, die von verschiedenen Würmern stammten, starke Abweichungen der mittleren Strahlensensibilität feststellte. Die Kurve zeigt einen typisch sigmoidalen Verlauf, während für Ultraviolett von H. Loevy ein annähernd exponentialer Verlauf gefunden wurde. Wir können also auch an Drosophilapuppen die grundsätzlichen Unterschiede der Röntgen und U. V. Wirkung feststellen, die Ad. Liechti an Ascariseiern fand.

2. Versuch mit weichen Strahlen

In einer zweiten Versuchsreihe arbeiteten wir mit veränderter Wellenlänge, während die Intensität die gleiche blieb wie beim ersten Versuch. Die Bedingungen waren diesmal:

80 kV
6 mA
kein Filter

Der Strahlenzufluss betrug wieder 50 r/min.

Auch hier wurde die Intensität dauernd mit dem Hammerdosimeter gemessen. Die Versuchsanordnung blieb, wie auch für die folgenden Versuche, dieselbe.

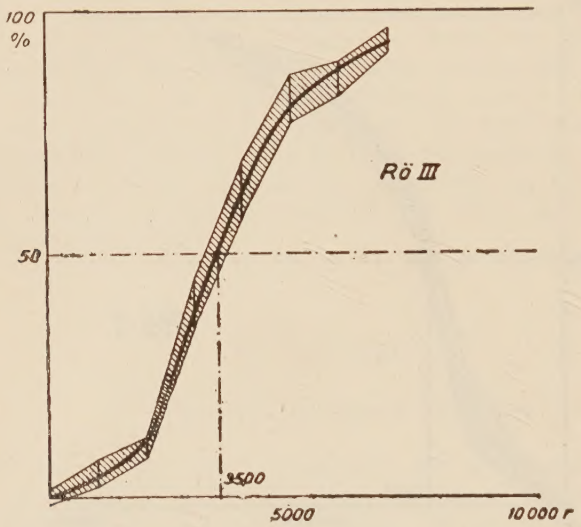

Abbildung 2

Die Kurve (Abbildung 2) stellt den Mittelwert aus 8 Versuchen dar. Durch die Bestrahlung von jeweils 7 Einzelportionen mit Dosen von 1000—7000 r wurden 7 Punkte der Kurve festgelegt, der Verlauf danach interpoliert. Die Kurve stellt wieder eine ausgesprochene Ogive dar, aber von etwas weniger steilem Verlauf als für harte Strahlen. Die Halbwertsdosis erfordert diesmal 3500 r. Es ergibt sich also eine Differenz von 700 r zu derjenigen für 190 KV. Dieses Ergebnis steht in Gegensatz zu dem Befund an Ascariseiern, wo die Reaktion unabhängig von der Wellenlänge war. J. H. Müller fand auch für Drosophilapuppen keinen Unterschied in der Wirkung harter Röntgenstrahlen und β-Strahlen. In unserem Fall haben wir in Erwägung zu ziehen, ob die weicheren Strahlen im Chitinpanzer der Puppe nicht stärker absorbiert werden und dadurch die effektive Dosis entsprechend verändert wird. Wir werden an Hand der Variationskurven noch einmal darauf zurückkommen.

3. Versuch mit Grenzstrahlen

Für die Versuche mit Grenzstrahlen stand uns ein Apparat von Siemens zu Verfügung, bei dem die Intensität im Abstand von 10 cm 200 r in der Minute betrug. Er wurde mit einer Spannung von 11 KV betrieben, was einer Minimalwellenlänge von 1,22 Å entspricht. Auch hier wurde in freier Luft bestrahlt, um Rückstreuung und Sekundärstrahlung möglichst auszuschalten.

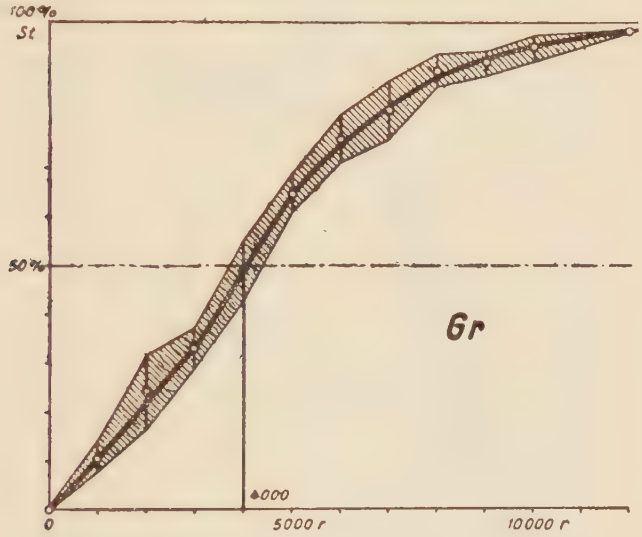

Abbildung 3

Die Kurve (Abbildung 3) stellt den Mittelwert aus 9 Versuchen dar. Dabei wurden jeweils 12 Portionen mit steigenden Dosen von 1000 r bis zu 12000 r bestrahlt. Es zeigte sich nämlich, dass erst bei dieser hohen Dosis annähernd 100 % der Population geschädigt wurden. Dementsprechend können wir einen stark abweichenden Verlauf gegenüber der Schädigung durch harte Strahlen feststellen. Die Kurve ist fast gleichmässig ansteigend und zeigt weiter eine allmählichere Abflachung. Die Halbwertsdosis beträgt trotz der vielfachen Intensität 4000 r, um 500 r mehr als für Strahlen von 80 kV, und um 1200 r mehr als für Strahlen von 190 kV. Während bei den letztgenannten Strahlungen eine Schädigung von nahezu 100 % der Population schon bei 7000 r erreicht wird, benötigen wir dazu bei den Grenzstrahlen 12000 r. Wie verschieden im übrigen die Häufigkeitsverteilung der Empfindlichkeitsgrade ist, wird bei den Variationskurven noch besonders deutlich.

4. Versuch mit weichen Strahlen bei Veränderung der Intensität

Wir arbeiteten diesmal wieder mit

80 kV

6 mA

ohne Filter

Dabei betrug der Strahlenzufluss 140 r/min.

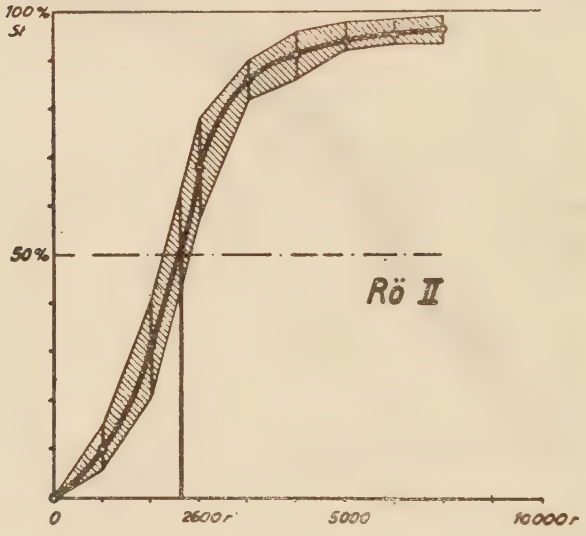

Abbildung 4

Es wurden in 6 Versuchen jeweils 8 Portionen mit 1000 r bis zu 8000 r bestrahlt. Wie die Kurve (Abbildung 4) zeigt, macht sich der Zeitfaktor stark geltend. Zur 50 % Schädigung der Population sind nur noch 2600 r erforderlich im Gegensatz zu 3500 r bei einer Intensität von 50 r/min. Der Zeitfaktor ist also kleiner als 1. Die Grösse des Zeitfaktors entspricht den Befunden an Ascariseiern unter Berücksichtigung der höheren Halbwertsdosis für Drosophilapuppen, wie auch aus den Zeitfaktorversuchen von M. Schweigert hervorgeht. Für Ultraviolett fand M. Schweigert in Uebereinstimmung mit den Resultaten an Ascariseiern keinen Einfluss der Intensität auf die Dosiswirkung, wie bei dem exponentialen Verlauf der U. V. Schädigung zu erwarten war. Die Kurve stellt wieder eine Ogive dar, der Verlauf ist im Vergleich zu 50 r/min steiler und nähert sich eher dem Schädigungsverlauf für 190 kV.

5. Variationskurven

In den folgenden Abbildungen ist der Zuwachs an Geschädigten für die Dosiseinheit, in unserem Falle 1000 r, angegeben. Sie stellen die Häufigkeitsverteilung der Empfindlichkeitsgrade dar, Abb. 5 für 190 kV, Abb. 6 für 80 kV, Abb. 7 für Grenzstrahlen, Abb. 8 für 80 kV bei 140 r/min.

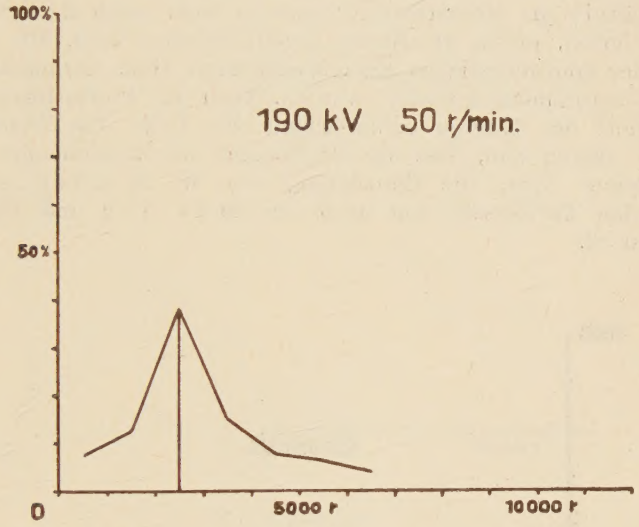

Abbildung 5

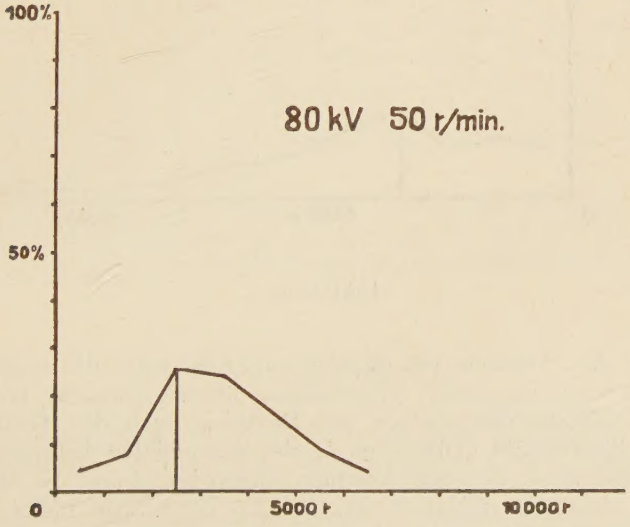

Abbildung 6

J. H. Müller fand einen kongruenten Schädigungsverlauf für harte Röntgenstrahlen und s-Strahlen. Wie unsere Abbildungen zeigen, weicht der Verlauf für weiche Röntgenstrahlen und Grenzstrahlen stark von dem für harte Strahlen ab. Während für harte Strahlen der grösste Unterschied in der %-Schädigung bei den mittleren Dosen liegt, gleichen sich die Unterschiede für weiche Strahlen immer mehr aus.

Ausserdem ist besonders bei den Grenzstrahlen der Wendepunkt im Verhältnis zur Gesamtvariationsbreite mehr nach dem Nullpunkt hin verschoben, sodass die Kurve asymmetrischer wird. Mit der Verteilung der kontinuierlichen Variationen kann diese Asymmetrie kaum in Uebereinstimmung gebracht werden. Nach der Trefftheorie würde der Verlauf der Kurven entsprechend der Lage der Wendepunkte dahin zu deuten sein, dass die Trefferzahl mit zunehmender Wellenlänge kleiner wird. Die Berechnung von W. Minder ergab für 190 kV eine Trefferzahl von n=8, für 80 kV n=5 und für Grenzstrahlen n=2.

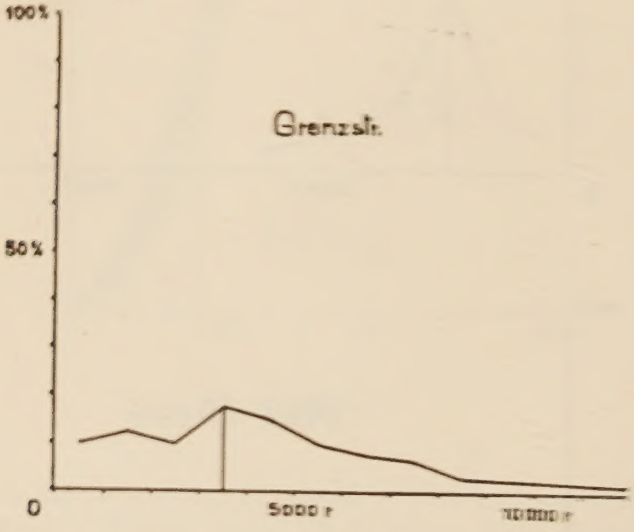

Abbildung 7

Nach den Angaben von K. Sommermeyer, die auch mit den bisherigen experimentellen Ergebnissen übereinstimmen, können für eine Wellenlängenabhängigkeit der Reaktion nach der Trefftheorie bei einer Trefferzahl grösser als 1, also sigmoidalen Kurven, nur folgende beiden Fälle in Frage kommen. Entweder nimmt die Halbwertsdosis mit steigender Frequenz zu, und die Trefferzahl bleibt konstant, oder die Trefferzahl nimmt mit steigender Frequenz zu, und die Halbwertsdosis bleibt konstant. Da in unserem Falle die Erhöhung der

Trefferzahl mit steigender Frequenz aus dem Verlauf der Kurven hervorgeht, können wir als Grund für die Aenderung der Halbwertsdosis mit der Wellenlänge nur annehmen, dass die effektive Dosis durch stärkere Absorption der weichen Strahlen im Chitinpanzer der Puppe verändert wird.

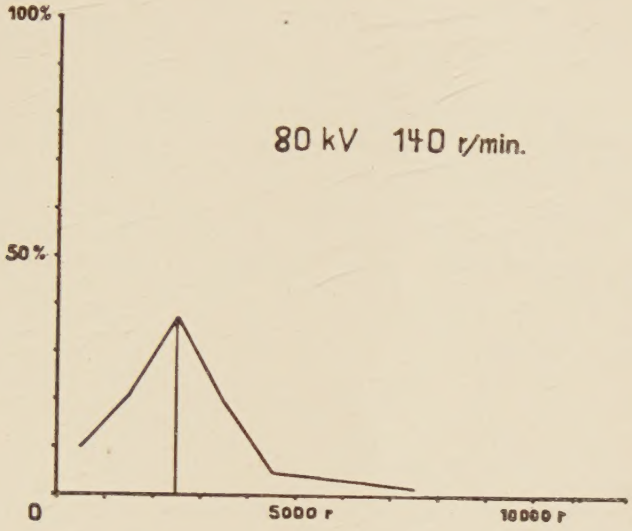

Abbildung 8

Wie aus dem Vergleich der Variationskurven für 80 kV bei der Intensität von 50 r/min (Abbildung 6) und bei der von 140 r/m (Abbildung 8) hervorgeht, steigt auch mit der Intensität die Trefferzahl an. W. Minder berechnete die Trefferzahlen zu n=5 für 50 r/min und n=6 für 140 r/min. Diese Tatsache geht noch deutlicher aus den Versuchen von M. Schweigert hervor. Wie aber schon in der Einleitung erwähnt wurde, ist die Frage des Zeitfaktors im Rahmen der Treffertheorie noch ungeklärt.

Die in unseren Kurven dargestellte Häufigkeitsverteilung scheint also eher für eine Trefferwirkung zu sprechen, als dass die Verteilung ausschliesslich durch die Variabilität der Empfindlichkeit bedingt wäre.

D. Zusammenfassung

Mit unseren Versuchen an Puppen von Drosophila melanogaster sollte der Schädigungsverlauf für Röntgenstrahlen festgestellt werden. Dabei sollte die Frage der Wellenlängenabhängigkeit der Reaktion näher geprüft werden. Ausserdem wurde ein Versuch mit veränderter Intensität durchgeführt.

Im Gegensatz zu der von Ad. Liechti an Ascariseiern festgestellten Wellenlängenunabhängigkeit der Reaktion scheint aus unseren Versuchen hervorzugehen, dass mit sinkender Frequenz die Halbwertsdosis ansteigt, was möglicherweise mit stärkerer Absorption der weichen Strahlen im Chitinpanzer der Puppe erklärt werden kann.

Der Zeitfaktorversuch ergab eine Intensitätsabhängigkeit der Halbwertsdosis in Uebereinstimmung mit den Ergebnissen von Ad. Liechti an Ascariseiern und M. Schweigert an Drosophilapuppen.

Der Verlauf der Kurven ist bei allen verwendeten Bestrahlungsbedingungen sigmoidal, zeigt jedoch eine deutliche Abhängigkeit sowohl von der Wellenlänge als auch von der Intensität.

Die Asymmetrie der Variationskurven scheint dafür zu sprechen, dass die Häufigkeitsverteilung nicht ausschliesslich durch die Variabilität der Empfindlichkeit bedingt ist, sondern dass auch die Trefferwirkung eine Rolle spielt.

Literatur

Gaffron H.: Naturw. 25, 496, 1937.

Holthusen und Braun: Grundlagen der Röntgenstrahlendosierung, Thieme 1933.

Jordan P.: Physik. Z. 39, 345, 1938.

Liechti Ad.: Röntgenphysik, Springer Wien 1939.

Liechti Ad.: Strahlenth. 43, 1, 1929.

Liechti Ad., Minder W. und J. H. Müller: Strahlenth. 63, 684, 1938.

Loevy H.: Diss. Bern 1940.

Minder W.: Radiolog. Clin. 8, 138, 1939.

Müller J. H.: Strahlenth. 64, 633, 1939.

Schweigert M.: Diss. Bern 1940.

Sommermeyer K.: Z. f. Physik 109, 332, 1938.